不同植物油对大规格吉富罗非鱼生长性能、组织脂肪酸组成的影响

李　新[1]　张　健[2]　钱雪桥[2*]　杨瑞斌[1]

(1.农业部淡水生物繁育重点实验室，华中农业大学水产学院，武汉 430070

2.广东海大畜牧水产研究中心，广州 511400)

摘　要：本试验旨在探究大规格吉富罗非鱼(GIFT)对不同植物油的利用效果，筛选出大规格吉富罗非鱼饲料中合适的植物脂肪源。分别以大豆油(SO)、棕榈油(PO)、棉籽油(CO)、菜籽油(RO)、磷脂油(SL)和大豆油：棕榈油:棉籽油:菜籽油:磷脂油=1:1:1:1:1 的混合油(MIX)为脂肪源配制 6 种等氮等脂的试验饲料，饲喂初始体重为(229.92±0.31) g 的吉富罗非鱼 8 周。每种试验饲料投喂 4 个网箱（重复），每个网箱放养 50 尾。结果表明：对于增重率和特定生长率，棉籽油组和混合油组显著低于菜籽油组(P<0.05)。菜籽油组饲料系数显著低于混合油组(P<0.05)，其他各组间无显著差异(P>0.05)。混合油组蛋白质效率显著低于菜籽油组和磷脂油组(P<0.05)。混合油组肝体指数显著高于棕榈油组和菜籽油组(P<0.05)。大豆油组、菜籽油组、棕榈油组和磷脂油组在增重率、特定生长率和饲料系数方面没有显著差异(P>0.05)。大豆油组和菜籽油组肌肉饱和脂肪酸总量显著低于其他各组(P<0.05)。对于肌肉 n-3 系脂肪酸/n-6 系脂肪酸，菜籽油组显著高于其他各组(P<0.05)，棉籽油显著低于其他各组(P<0.05)。棉籽油组肝脏饱和脂肪酸总量显著高于其他各组(P<0.05)，菜籽油组则显著低于其他各组(P<0.05)；对于肝脏 n-3/n-6，菜籽油组显著高于其他各组(P<0.05)。各组肌肉脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成的相关系数均高于肝脏脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成的相关系数。在饲料脂肪酸组成与肌肉或肝脏脂肪酸组成的相关系数中，均以棕榈油组最大，磷脂油组最小。由此得出，大豆油、棕榈油、菜籽油和磷脂油可以作为大规格吉富罗非鱼（体重范围：230～790 g）饲料中良好的脂肪源。大规格罗非鱼肌肉中脂肪酸组成一定程度上被饲料脂肪酸组成影响，但肝脏脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成的相关性较小。

关键词：吉富罗非鱼；植物油；生长；肌肉脂肪酸组成；肝脏脂肪酸组成

中图分类号：S963　　　　　　　文献标识码：A　　　　　　　文章编号：

罗非鱼，分类学上隶属鲈形目(Perciformes)鲈亚目(Percoidei)丽鱼科(Cichlidae)，常见种

收稿日期：2016-04-05

基金项目：广东海大集团海大研究院科研项目（TL14A4303）

作者简介：李　新(1990—)，女，湖北钟祥人，硕士研究生，从事水产动物营养与饲料的研究。E-mail: lixin420881@aliyun.com

*通信作者：钱雪桥，E-mail: qxq@haid.com.cn

类有莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus* Peters)、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus* Linnaeus)、吉利罗非鱼(*Tilapia zilli* Gervais)等，是原产于热带、亚热带的温水性鱼类，具有生长速度快、肉质厚、骨刺少、营养丰富等优点。吉富罗非鱼（genetically improved farmed tilapia，GIFT）为世界鱼类中心遗传改良的养殖罗非鱼系列，近年经过进一步遗传选育，在中国华南地区广泛养殖，目前已成为我国水产品出口的主要品种，为行业带来巨大的经济效益[1]。

罗非鱼可接受的饲料脂肪水平在 10%以下[2-5]。这可能与罗非鱼为偏植食性的杂食性鱼类，其天然饵料一般含低脂、高碳水化合物有关[6]。植物油产量巨大，特别是油料作物产生的植物油，产量远远高于鱼油。已有研究证明了植物油，如大豆油、亚麻油、菜籽油、橄榄油、棕榈油、玉米油等在水产饲料中的良好应用效果[7-8]，且异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)[9-10]、大西洋鲑(*Salmo salar*)[11]、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)[12]和泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)[13]已经证明能够很好利用植物油。鉴于鱼油资源有限，目前鱼油价格不断攀升，因此，利用植物油替代水产动物饲料中的鱼油还可起到节约成本的作用。

由于养殖条件和试验成本的限制，关于罗非鱼的研究多针对于 0.8～35.0 g 罗非鱼幼鱼[14-17]，对大规格罗非鱼的研究鲜有报道，而体重在 200 g 以上的大规格罗非鱼是罗非鱼养殖生产中的主要经济来源。因此，研究大规格罗非鱼饲料中的不同植物油的应用效果具有重要的实践意义。本研究拟探讨不同植物油对大规格吉富罗非鱼生长性能、组织脂肪酸的影响，为大规格吉富罗非鱼饲料配方的优化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计和饲料制备

以越南鱼粉、豆粕、菜籽粕、棉籽粕和干全酒糟及其可溶物（DDGS）为蛋白质源，国产小麦为糖源，再分别以大豆油(SO)、棕榈油(PO)、棉籽油(CO)、菜籽油(RO)、磷脂油(SL)和大豆油：棕榈油:棉籽油:菜籽油:磷脂=1:1:1:1:1 的混合油(MIX)为脂肪源，共配制 6 种等氮等脂的试验饲料，其组成及营养水平见表 1。试验所用磷脂油为大豆磷脂油。饲料交由广东海大金禾饲料厂制作，饲料原料粉碎后全部通过 60 目筛，按照添加量从小到大的顺序逐级搅拌混匀，用颗粒饲料机制成直径为 3.5 mm 的硬颗粒膨化料，风干后于-20 ℃保存备用。试验饲料的脂肪酸组成如表 2 所示。

表 1 试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

原料 Ingredients	饲料脂肪源 Dietary lipid source					
	大豆油 SO	棕榈油 PO	棉籽油 CO	菜籽油 RO	磷脂油 SL	混合油 MIX
鱼粉 Fish meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
豆粕 Soybean meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
菜籽粕 Rapeseed meal	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
棉籽粕 Cottonseed meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
干全酒糟及其可溶物 DDGS	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
小麦 Wheat	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
细统糠 Rice bran	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
大豆油 SO	2.50					
棕榈油 PO		2.50				
棉籽油 CO			2.50			
菜籽油 RO				2.50		
磷脂油 SL					2.50	
混合油 MIX						2.50
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
氯化胆碱 Choline chloride	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
维生素预混物 Vitamin premix[1)]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
矿物质预混物 Mineral premix[2)]	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
维克霉 Victor mold	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
米糠粕 Rice bran meal	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]						
粗蛋白质 Crude protein	33.67	32.79	32.28	33.36	32.85	33.47
粗脂肪 Crude fat	3.40	3.60	3.70	3.60	3.50	3.60
粗灰分 Ash	8.10	8.00	8.30	8.20	8.20	8.20

[1)]维生素预混料为每千克饲料提供 The vitamin premix provided the following per kg of diets：VA 96.26 mg，VD_3 9.68 mg，VE 32.80 mg，VK 345.83 mg，VB_1 57.75 mg，VB_2 192.37

mg，VB_6 45.83 mg，VB_{12} 0.07 mg，生物素 biotin 5.78 mg，肌醇 inositol 3 212.83 mg，烟酸 nicotinic acid 769.73 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 269.49 mg，叶酸 folic acid 14.40 mg，氯化胆碱 choline chloride 7 869.30 mg。

2)矿物质预混料为每千克饲料提供 The mineral premix provided the following per kg of diets：$MgSO_4$ 5 070 mg，Na_2HPO_4 3 230 mg，K_2HPO_4 8 870 mg，$FeC_6H_5O_7 \cdot 5H_2O$ 1 100 mg，$CaC_6H_{10}O_6 \cdot 5H_2O$ 12 090 mg，$Al(OH)_3$ 10 mg，$ZnSO_4$ 130 mg，$CuSO_4$ 4 mg，$MnSO_4$ 30 mg，$Ca(IO_3)_2$ 10 mg，$CoSO_4$ 40 mg。

3)营养水平为实测值。Nutrient levels were measured.

表 2　试验饲料的脂肪酸组成(占总脂肪酸的百分比)

Table 2　Fatty acid composition of experiment diets (percentage of total fatty acids)　%

脂肪酸 Fatty acids	饲料脂肪源 Dietary lipid source					
	大豆油 SO	棕榈油 PO	棉籽油 CO	菜籽油 RO	磷脂油 SL	混合油 MIX
C14:0	—	0.80	0.60	—	—	0.40
C15:0	—	—	—	—	—	—
C16:0	11.90	28.20	20.30	8.30	14.20	16.90
C17:0	—	—	—	—	—	—
C18:0	3.60	3.90	2.80	2.10	3.20	3.20
C20:0	0.40	0.40	0.30	0.50	0.40	0.50
C21:0	—	—	—	—	—	—
C22:0	0.40	—	—	0.30	—	—
ΣSFA	16.30	33.30	24.00	11.20	17.80	21.00
C16:1n-7	0.30	0.60	0.60	0.40	0.40	0.40
C18:1n-9	24.10	34.20	19.30	44.20	22.20	30.40
C20:1n-9	0.20	0.30	0.20	0.80	—	0.40
ΣMUFA	24.60	35.10	20.10	45.40	22.60	31.20
C18:2n-6	50.60	27.50	51.90	32.60	51.40	41.20
C20:3n-6	—	—	—	—	—	—
C20:4n-6	—	—	—	—	—	—
C22:4n-6	—	—	—	—	—	—
Σn-6	50.60	27.50	51.90	32.60	51.40	41.20
C18:3n-3	4.60	1.50	1.60	6.40	4.70	3.60
C20:5n-3	—	—	—	—	—	—
C22:6n-3	—	—	—	—	—	0.30
Σn-3	4.60	1.50	1.60	6.40	4.70	3.60
n-3/n-6	0.09	0.05	0.03	0.20	0.09	0.09

SFA:饱和脂肪酸 saturated fatty acids；MUFA:单不饱和脂肪酸 monounsaturated fatty acids；n-6：n-6 系脂肪酸 n-6 fatty acids；n-3：n-3 系脂肪酸 n-3 fatty acids。表 4 同 The same as Table 4。

1.2　试验动物与饲养管理

养殖试验在广东海大畜牧水产研究中心(以下简称海大研究院)沙北基地进行。试验在室外养殖系统的 24 个网箱(1 m×1 m×2 m)中进行，水深 3 m。整个试验过程中随天气变化不定时充气。试验期间水温保持在(31±2) ℃，氨氮浓度小于 0.5 mg/L，溶氧浓度大于 5 mg/L，pH 约为 6.9。

试验用吉富罗非鱼由广东肇庆高要县罗非鱼养殖场提供，经消毒后在大塘中暂养，达到试验规格后转入试验系统，投喂暂养饲料。挑取体质健壮、规格一致、初始体重为(229.92±0.31) g 的试验鱼 1 200 尾，随机分为 6 组，每组设 4 个重复，每个重复 50 尾。再随机取 2 组鱼，每组 10 尾，取背肌放入冰箱保存，待分析肌肉脂肪酸组成。

正式养殖试验期 8 周，采用自动投饵机每天投喂 2 次，08:00 和 14:30 各 1 次，根据鱼体生长、摄食和死亡等状况及时调整投喂量。试验结束后，将试验鱼饥饿 24 h，每箱鱼称重并计数。

1.3　样品采集

每箱随机取 5 尾试验鱼，先测量体长和体重，然后解剖取出内脏和肝脏，以计算脏体指数(VSI)、肝体指数(HSI)。部分肝脏样品放入液氮后转入-80 ℃保存，经冷冻干燥后测定肝脏脂肪酸组成。取背肌放入液氮后转入-80 ℃保存，经冷冻干燥后测定肌肉脂肪酸组成。

1.4　指标测定

1.4.1　生长性能指标测定

根据以下公式计算增重率(WGR)、特定生长率(SGR)、饲料系数(FCR)、蛋白质效率(PER)、脏体指数、肝体指数、存活率。

增重率（%）=$100\times(W_t-W_0)/W_0$；

特定生长速率（%/d）=$100\times(\ln W_t-\ln W_0)/t$；

饲料系数=$F/(W_t-W_0)$；

蛋白质效率=$(W_t-W_0)/(F\times P)$；

脏体指数（%）=$100\times V/W_t$；

肝体指数（%）=$100\times H/W_t$；

存活率（%）=$100\times N_t/N_0$。

式中：W_0 为试验开始时鱼体重(g)；W_t 为试验结束时鱼体重(g)；F 为饲料摄入量(g)；P 为饲料中粗蛋白质含量(%)；V 为鱼体内脏重(g)；H 为鱼体肝脏重(g)；t 为饲喂天数（d）；N_0 为试验开始时鱼尾数(g)；N_t 为试验结束时鱼尾数(g)。

1.4.2　常规营养成分测定

常规营养成分的测定在海大研究院进行，具体如下：用凯氏定氮仪(Kjeltec 2300 Analyzer，瑞典)测定样品干物质的粗蛋白质含量(GB/T 5009.5-2003)；以乙醚为抽提液，用索氏抽提器(Soxtec System HT6，瑞典)测定样品干物质的粗脂肪含量(GB/T5009.6-2003)；将样品干物质放入马福炉中 550 ℃灼烧 6 h 后测定粗灰分含量(GB/T5009.4-2010)。

1.4.3　脂肪酸组成测定

试验饲料、肌肉及肝脏的脂肪酸组成测定参照 GB/T 17376-1998(eqv ISO 5509:1978)和 GB/T 17377-1998(eqv ISO 5508:1990)的方法，在海大研究院测定。甲酯化的脂肪酸用携带分流进样器的气相色谱仪(Agilent 6820 GC,美国)分析。以毛细管柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm)采用程序升温(145 ℃，5 min；145～220 ℃，5 ℃/min；220 ℃，20 min)进行分离，载气为氮气(流速 43 mL/min)，检测器为氢离子火焰检测器。进样温度 270 ℃，检测器温度 280 ℃，内标为 C11:0。

1.5　数据统计及分析

试验结果采用平均值±标准差(mean±SD)的形式表示，用 SPSS 19.0 对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，用 Duncan 氏法多重比较分析组间差异显著性，并对结果进行单变量的相关性分析，显著水平为 P<0.05，极显著水平为 P<0.01。

2　结　果

2.1　生长性能

各组吉富罗非鱼的存活率均为 100%。棉籽油组、混合油组增重率和特定生长率显著低于菜籽油组(P<0.05)，其他各组间无显著差异(P>0.05)。菜籽油组饲料系数显著低于混合油组(P<0.05)，其他各组间无显著差异(P>0.05)。混合油组蛋白质效率显著低于菜籽油组和磷脂油组(P<0.05)，其他各组间无显著差异(P>0.05)。混合油组肝体指数显著高于棕榈油组和菜籽油组(P<0.05)，其他各组间无显著差异(P>0.05)。各组吉富罗非鱼摄食量和脏体指数无显著差异(P>0.05)。

表 3　不同植物油对大规格吉富罗非鱼生长性能的影响

Table 3　Effects of different vegetable oils on growth performance of large size GIFT

项目 Items	组别 Groups					
	大豆油 SO	棕榈油 PO	棉籽油 CO	菜籽油 RO	磷脂油 SL	混合油 MIX

初重 IBW/(g/尾)	229.90±0.20^{a}	229.90±0.38^{a}	230.10±0.38^{a}	229.90±0.20^{a}	229.70±0.20^{a}	230.00±0.46^{a}
末重 FBW/(g/尾)	774.12±13.95^{ab}	760.49±24.62^{ab}	751.75±17.34^{a}	782.12±7.37^{b}	774.04±14.01^{ab}	752.02±15.36^{a}
摄食量 FI/(g/尾)	808.16±0.33	809.32±2.64	809.47±2.94	817.12±11.87	809.63±3.27	815.34±10.84
增重率 WGR/%	236.72±0.06^{ab}	230.79±0.11^{ab}	226.70±0.07^{a}	240.20±0.03^{b}	236.97±0.06^{ab}	226.96±0.06^{a}
特定生长率 SGR/(%/d)	2.17±0.03^{ab}	2.13±0.06^{ab}	2.11±0.04^{a}	2.19±0.02^{b}	2.17±0.03^{ab}	2.11±0.03^{a}
饲料系数 FCR	1.49±0.04^{ab}	1.53±0.07^{ab}	1.55±0.05^{ab}	1.48±0.03^{a}	1.49±0.04^{ab}	1.56±0.03^{b}
蛋白质效率 PER	2.00±0.05^{ab}	2.00±0.10^{ab}	2.00±0.07^{ab}	2.03±0.05^{b}	2.05±0.06^{b}	1.91±0.03^{a}
脏体指数 VSI/%	8.28±1.20	8.04±0.61	8.70±0.74	8.54±0.53	8.33±0.15	8.28±0.22
肝体指数 HSI/%	2.02±0.32^{ab}	1.97±0.25^{a}	2.16±0.10^{ab}	1.88±0.10^{a}	2.08±0.11^{ab}	2.33±0.19^{b}

同行数据肩标相同或无小写字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2 组织脂肪酸组成

表 4 所示为摄食含不同植物油饲料 8 周后大规格吉富罗非鱼背肌的脂肪酸组成。在背肌脂肪酸组成分析中，棉籽油组的饱和脂肪酸(SFA)总量显著高于其他各组(P<0.05)，大豆油组和菜籽油组则显著低于其他各组(P<0.05)；棉籽粕组的单不饱和脂肪酸(MUFA)总量显著低于其他各组(P<0.05)，菜籽油组则显著高于其他各组(P<0.05)；对于 n-6 系脂肪酸(n-6)总量，棉籽粕组显著高于除大豆油组外的其他各组(P<0.05)，菜籽粕组和棕榈油组显著低于其他各组(P<0.05)；对于 n-3 系脂肪酸(n-3)总量，棕榈油组和棉籽油组显著低于其他各组(P<0.05)，菜籽油组显著高于除磷脂油组外的其他各组(P<0.05)；对于 n-3/n-6，菜籽油组显著高于其他各组(P<0.05)，棉籽油显著低于其他各组(P<0.05)。

表 5 所示为摄食不同植物脂肪源饲料 8 周后大规格吉富罗非鱼肝脏的脂肪酸组成。在肝脏脂肪酸组成分析中，棉籽油组饱和脂肪酸总量显著高于其他各组(P<0.05)，菜籽油组则显著低于其他各组(P<0.05)；棉籽粕组的单不饱和脂肪酸总量显著低于其他各组(P<0.05)；对于 n-6 系脂肪酸(n-6)总量，棉籽粕组显著高于棕榈油组(P<0.05)；对于总 n-3 系脂肪酸总量和 n-3/n-6，菜籽油组显著高于其他各组(P<0.05)。

表 6 所示为饲料脂肪酸组成与大规格吉富罗非鱼组织脂肪酸组成的相关性。结果显示，

各组背肌脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成的相关系数均高于肝脏脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成的相关系数。在饲料脂肪酸组成与背肌脂肪酸组成的相关系数中，棕榈油组最大，磷脂油组最小。在饲料脂肪酸组成与肝脏脂肪酸组成的相关系数中，棕榈油组最大，磷脂油组最小。

表 4 不同植物油对大规格吉富罗非鱼背肌脂肪酸组成的影响(占总脂肪酸的百分比)

Table 4 Effects of different vegetable oils on dorsal muscle fatty acid composition of large size GIFT (percentage of total fatty acids)

脂肪酸 Fatty acids	组别 Groups						
	初始 Initial	大豆油 SO	棕榈油 PO	棉籽油 CO	菜籽油 RO	磷脂油 SL	混合油 MIX
C14:0	2.80	2.30±0.20^{a}	2.60±0.08^{abc}	2.88±0.17^{c}	2.58±0.31^{abc}	2.53±0.10^{ab}	2.83±0.21^{bc}
C15:0	0.30	0.18±0.05^{a}	0.20±0.00^{a}	0.18±0.05^{a}	0.15±0.06^{a}	0.20±0.00^{a}	0.20±0.00^{a}
C16:0	23.30	23.25±0.65^{a}	28.83±1.16^{cd}	27.85±0.26^{d}	22.35±0.17^{a}	25.03±0.38^{b}	25.93±0.95^{bc}
C17:0	—	0.18±0.05^{a}	0.18±0.05^{a}	0.20±0.00^{a}	0.18±0.05^{a}	0.20±0.00^{a}	0.20±0.00^{a}
C18:0	6.30	5.85±0.13^{a}	6.18±0.96^{a}	11.63±0.36^{c}	5.20±0.29^{a}	5.80±0.25^{a}	8.33±1.80^{b}
C20:0	0.40	0.20±0.00^{a}	0.20±0.00^{a}	0.23±0.05^{a}	0.25±0.06^{a}	0.20±0.00^{a}	0.20±0.00^{a}
C21:0	1.00	1.03±0.10^{c}	0.85±0.13^{ab}	1.28±0.05^{d}	0.73±0.10^{a}	0.95±0.06^{bc}	1.08±0.15^{c}
C22:0	0.10	0.10±0.00^{a}	0.13±0.06^{a}	0.10±0.00^{a}	0.10±0.00^{a}	0.43±0.49^{a}	0.10±0.00^{a}
ΣSFA	34.20	33.08±0.63^{a}	37.13±0.34^{bc}	44.33±0.22^{d}	31.53±0.19^{a}	35.23±0.69^{b}	38.80±3.12^{c}
C16:1n-7	3.90	3.55±0.26^{c}	3.70±0.75^{c}	1.75±0.10^{a}	3.85±0.21^{c}	4.03±0.30^{c}	2.58±0.60^{b}
C18:1n-9	25.80	29.03±0.17^{b}	31.65±1.55^{c}	22.08±0.28^{a}	34.93±0.62^{d}	27.80±0.39^{b}	22.18±3.31^{b}
C20:1n-9	1.20	1.30±0.08^{b}	1.43±0.10^{c}	1.08±0.05^{a}	1.48±0.05^{c}	1.18±0.05^{ab}	1.25±0.13^{b}
ΣMUFA	30.90	33.88±0.17^{b}	36.78±2.22^{c}	24.90±0.34^{a}	40.25±0.60^{d}	33.00±0.65^{b}	31.00±4.01^{b}
C18:2n-6	20.60	19.25±1.07^{bc}	13.80±2.01^{a}	19.85±0.26^{c}	13.70±0.14^{a}	17.70±0.48^{b}	17.70±2.03^{b}
C20:3n-6	1.10	1.10±0.00^{b}	0.95±0.13^{a}	1.23±0.10^{b}	0.98±0.05^{a}	1.13±0.10^{b}	1.13±0.05^{b}
C20:4n-6	1.30	1.20±0.08^{ab}	1.15±0.17^{ab}	1.13±0.10^{a}	1.13±0.05^{a}	1.38±0.22^{b}	1.23±0.17^{ab}
C22:4n-6	0.20	0.17±0.06^{bc}	0.20±0.00^{c}	0.10±0.00^{a}	0.20±0.00^{c}	0.17±0.06^{bc}	0.13±0.05^{ab}
Σn-6	23.20	21.68±0.93^{bc}	16.10±2.07^{a}	22.30±0.18^{c}	16.00±0.22^{a}	20.33±0.22^{b}	20.18±1.91^{b}
C18:3n-3	2.70	2.90±0.14^{cd}	2.10±0.35^{a}	2.05±0.06^{a}	3.08±0.05^{d}	2.73±0.13^{c}	2.45±0.17^{b}
C20:5n-3	0.20	0.10±0.00^{a}	0.13±0.06^{a}	0.10±0.00^{a}	0.10±0.00^{a}	0.13±0.05^{a}	0.10±0.00^{a}
C22:6n-3	2.40	1.05±0.13^{a}	1.10±0.22^{a}	1.05±0.13^{a}	1.53±0.19^{b}	1.53±0.33^{b}	1.30±0.26^{ab}
Σn-3	5.30	4.00±0.18^{bc}	3.30±0.32^{a}	3.20±0.14^{a}	4.70±0.22^{d}	4.38±0.26^{cd}	3.80±0.37^{b}
n-3/n-6	0.23	0.19±0.01^{b}	0.21±0.02^{bc}	0.14±0.01^{a}	0.30±0.01^{d}	0.22±0.02^{c}	0.19±0.03^{bc}

表 5 不同植物油对大规格吉富罗非鱼肝脏脂肪酸组成的影响(占总脂肪酸的百分比)

Table 5 Effects of different vegetable oils on liver fatty acid composition of large size GIFT (percentage of total fatty acids)

脂肪酸 Fatty acids	组别 Groups					
	大豆油 SO	棕榈油 PO	棉籽油 CO	菜籽油 RO	磷脂油 SL	混合油 MIX
C14:0	2.43±0.10^{ab}	2.55±0.30^{abc}	3.00±0.29^{d}	2.23±0.27^{a}	2.83±0.42^{bcd}	2.95±0.03^{cd}
C15:0	0.10±0.00^{a}	0.15±0.07^{a}	0.10±0.00^{a}	0.10±0.00^{a}	0.10±0.00^{a}	—

C16:0	23.33±1.11^{b}	24.68±1.44^{b}	24.23±3.00^{b}	19.38±1.04^{a}	23.70±1.28^{b}	23.93±1.69^{b}
C17:0	0.25±0.06^{abc}	0.20±0.00^{a}	0.33±0.05^{c}	0.30±0.08^{bc}	0.23±0.05^{ab}	0.25±0.06^{abc}
C18:0	9.53±0.62^{a}	10.08±0.99^{a}	16.48±0.95^{c}	9.56±0.93^{a}	10.03±0.81^{a}	13.28±0.30^{b}
C20:0	0.20±0.00^{a}	0.20±0.00^{a}	0.27±0.06^{b}	0.23±0.05^{ab}	0.20±0.00^{a}	0.23±0.05^{ab}
C21:0	0.75±0.13^{a}	0.58±0.21^{a}	1.05±0.26^{b}	0.60±0.08^{a}	0.50±0.14^{a}	0.80±0.22^{ab}
C22:0	0.10±0.00^{a}	0.30±0.00^{a}	0.60±0.00^{a}	0.20±0.14^{a}	0.20±0.00^{a}	0.30±0.00^{a}
ΣSFA	36.58±0.40^{b}	38.43±1.36^{bc}	45.45±3.77^{d}	32.43±0.93^{a}	37.60±2.24^{bc}	41.50±4.15^{c}
C16:1n-7	4.03±0.40^{c}	3.90±0.95^{bc}	1.93±1.28^{a}	3.55±0.29^{bc}	4.40±0.56^{c}	2.95±2.87^{b}
C18:1n-9	32.88±0.78^{b}	34.43±3.55^{b}	24.20±1.65^{a}	33.13±2.58^{b}	33.88±2.09^{b}	30.15±3.85^{b}
C20:1n-9	1.50±0.14^{bc}	1.60±0.18^{c}	1.15±0.13^{a}	1.63±0.10^{c}	1.50±0.08^{bc}	1.35±0.13^{b}
ΣMUFA	38.40±0.94^{bc}	39.93±4.52^{c}	27.28±1.75^{a}	38.30±2.84^{bc}	39.78±2.22^{c}	34.45±4.76^{b}
C18:2n-6	9.83±1.12^{a}	7.60±3.47^{a}	10.25±1.93^{a}	8.30±0.90^{a}	7.93±3.06^{a}	8.83±2.57^{a}
C20:3n-6	0.90±0.14^{a}	0.75±0.21^{a}	1.23±0.22^{b}	1.23±0.17^{b}	0.80±0.18^{a}	1.03±0.10^{ab}
C20:4n-6	1.90±0.57^{ab}	1.73±0.21^{a}	2.98±1.35^{b}	2.93±0.84^{b}	1.85±0.41^{ab}	2.33±0.22^{ab}
C22:4n-6	0.13±0.05^{a}	0.18±0.05^{a}	0.10±0.00^{a}	0.17±0.06^{a}	0.15±0.06^{a}	0.10±0.00^{a}
Σn-6	12.75±0.59^{ab}	10.25±3.96^{a}	14.48±1.69^{b}	12.58±1.00^{ab}	10.73±3.36^{ab}	12.28±2.54^{ab}
C18:3n-3	1.28±0.13^{ab}	1.08±0.51^{a}	0.95±0.17^{a}	1.60±0.14^{b}	1.10±0.41^{a}	1.00±0.22^{a}
C20:5n-3	0.10±0.00^{a}	—	—	0.10±0.00^{a}	—	0.10±0.00^{a}
C22:6n-3	2.10±0.91^{a}	1.95±0.29^{a}	3.03±1.49^{a}	4.80±1.69^{b}	2.23±0.51^{a}	2.53±0.49^{a}
Σn-3	3.43±0.78^{a}	3.03±0.78^{a}	3.98±1.35^{a}	6.45±1.59^{b}	3.33±0.74^{a}	3.55±0.47^{a}
n-3/n-6	0.27±0.07^{a}	0.31±0.05^{a}	0.28±0.08^{a}	0.51±0.11^{b}	0.32±0.05^{a}	0.31±0.09^{a}

表 6　饲料脂肪酸组成与组织脂肪酸组成的相关性

Table 6　Correlations between tissue fatty acid composition and dietary fatty acid composition

组别 Groups	相关系数 Related coefficient	*P* 值 *P*-value	R^2	线性回归方程 Equation of linear regression
肌肉 Muscle				
大豆油 SO	0.736	<0.01	0.542	Y=3.328+0.566X
棕榈油 PO	0.945	<0.01	0.893	Y=0.841+0.863X
棉籽油 CO	0.733	<0.01	0.537	Y=3.433+0.573X
菜籽油 RO	0.847	<0.01	0.718	Y=0.702+2.186X
磷脂油 SL	0.709	<0.01	0.502	Y=3.489+0.546X
混合油 MIX	0.801	<0.01	0.642	Y=2.473+0.679X
肝脏 Liver				
大豆油 SO	0.546	<0.01	0.298	Y=4.238+0.442X
棕榈油 PO	0.880	<0.01	0.774	Y=0.934+0.835X
棉籽油 CO	0.560	<0.01	0.314	Y=4.342+0.428X
菜籽油 RO	0.789	<0.01	0.623	Y=2.656+0.619X
磷脂油 SL	0.504	<0.01	0.254	Y=4.400+0.423X
混合油 MIX	0.661	<0.01	0.437	Y=3.144+0.579X

Y 代表组织中脂肪酸组成；X 代表饲料中脂肪酸组成。

Y represented tissue fatty acid composition; X represented dietary fatty acid composition.

3 讨 论

3.1 不同植物油对大规格吉富罗非鱼生长性能的影响

已有大量研究证明植物油在水产饲料中的良好应用效果[7-13]。饲喂异育银鲫分别含 5.4%鱼油、豆油、菜籽油、亚麻油的饲料 8 周后，豆油组及菜籽油组的增重率显著高于鱼油组，豆油组、菜籽油组及亚麻油组的增重率无显著差异[9]。本试验结果显示，经过 8 周饲喂后，各组吉富罗非鱼的增重率和存活率分别在 220%和 100%以上，这表明吉富罗非鱼对各植物油即大豆油、棕榈油、棉籽油、菜籽油、磷脂油和混合油均表现出很好的吸收和利用能力。这可能是因为吉富罗非鱼为偏植食性的杂食性鱼类，因此对于植物油有着良好的转化和吸收能力。

各组吉富罗非鱼的摄食量无显著差异，但增重率、特定生长率、饲料系数及蛋白质效率率却出现差异。可见吉富罗非鱼对于含不同植物油的饲料的摄食量虽然相同，但在鱼体内的转化和吸收是有差异的，从而导致了生长性能的差异。

本试验中菜籽油组和大豆油组吉富罗非鱼的生长表现较好。菜籽油含有大量的 C18:1n-9，通常首先被β氧化产生能量，为鱼体生长提供了充足的能量。大豆油和菜籽油中充足的 C18:2n-6 和 C18:3n-3 为吉富罗非鱼提供了充足的必需脂肪酸。许多研究也证实了菜籽油和大豆油作为鱼类饲料的替代脂肪源的良好效果[9-10]。

值得注意的是，一般认为饲料中添加磷脂油对仔稚鱼的生长发育十分有利[12-13]。本研究中磷脂油组的增重率、特定生长率、蛋白质效率和饲料系数与菜籽油组无显著差异，表明磷脂油同样对大规格鱼类的生长有促进作用。

棉籽油组饲料的促生长效果不好可能与饲料中 C18:1n-9 和 C18:3n-3 含量不足且含有大量饱和脂肪酸有关，因罗非鱼不能很好利用饱和脂肪酸[14]。

混合油组的肝体指数显著高于棕榈油组和菜籽油组，这可能说明棕榈油组和菜籽油组的吉富罗非鱼肝脏能很好的进行脂质代谢，不会在肝脏积累过多的脂肪。此外，混合油组吉富罗非鱼的增重率、特定生长率和蛋白质效率均显著低于菜籽油组，促生长效果不佳。

3.2 不同植物油对大规格吉富罗非鱼组织脂肪酸组成的影响

鱼体的最终脂肪酸组成是摄入饲料和内源性代谢共同作用的结果，伴随着消化和吸收，转化为另一种脂肪酸或脂肪酸衍生物而氧化或积累。研究表明，鱼类的肌肉脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成有着高度相关性[14-16]。本试验中，饲料脂肪酸组成与组织脂肪酸组成相关性结果表明，大规格吉富罗非鱼肌肉脂肪酸组成明显受饲料脂肪酸组成的影响，肝脏脂肪酸组成受饲料脂肪酸组成的影响较小，与在团头鲂[18]和日本鲈鱼[19]中的研究结果一致。棕榈油组

吉富罗非鱼的组织脂肪酸组成与饲料脂肪酸组成相关性最大，但棕榈油组组织中 C18:1n-9、C18:2n-6 和 C18:3n-3 含量都很低，且含有大量饱和脂肪酸，这样的脂肪酸组成并不利于罗非鱼的生长。因此其原因可能是由于该组饲料脂肪酸组成与鱼体初始脂肪酸组成最接近。

在大规格吉富罗非鱼组织脂肪酸中，饱和脂肪酸一般以 C16:0 和 C18:0 为主，单不饱和脂肪酸一般以 C18:1n-9 为主，n-6 系脂肪酸主要是 C18:2n-6，n-3 系脂肪酸主要是 C18:3n-3。在肝脏脂肪酸组成中，饱和脂肪酸一般以 C16:0 和 C18:0 为主，单不饱和脂肪酸一般以 C18:1n-9 为主，n-6 系脂肪酸主要是 C18:2n-6，n-3 系脂肪酸主要是 C22:6n-3。然而，不同脂肪源之间的脂肪酸组成差异却非常大[14-15,19]。这表明，鱼油替代物不可避免地改变了鱼肉的脂肪酸组成，但鱼体也仍然在控制脂肪酸组成的改变，使之稳定在一定范围内[13,20]。

大量研究表明，同样的脂肪源由于营养史及饲料基础配方不同等原因，而导致饲料的脂肪酸组成不尽相同。不同研究中菜籽油组饲料的 n-3/n-6 分别为 0.29[8]、0.43[7]和 0.90[21]，在本研究中，菜籽油组饲料的 n-3/n-6 为 0.20。此外，不同研究者的试验中棕榈油[14-15]、大豆油[7-8,19]的 n-3/n-6 也存在差异。本研究中，尽管大豆油组、磷脂油组和混合油组饲料的 n-3/n-6 相同，但吉富罗非鱼的组织脂肪酸组成却出现很大差异。因此，未来的主要研究方向可能不仅仅是单一的用其他油脂替代鱼油，应更多地关注于在采用替代脂肪源的同时，控制脂肪酸的比例来进行更精确的研究。

现今人类膳食中 n-6 多不饱和脂肪酸(PUFA)大多都是过量的，但 n-3 PUFA 却严重不足，故认为高 n-3/n-6 的鱼肉对人类来说是更健康的[22]。在本研究中，菜籽油组吉富罗非鱼肌肉中 C18:3n-3 含量和 n-3/n-6 最高，而饱和脂肪酸总量最低，可以认为菜籽油组吉富罗非鱼的肌肉更符合人类营养需求。

4　结　论

大豆油、棕榈油、菜籽油和磷脂油可以作为大规格吉富罗非鱼（体重范围：230～790 g）饲料中良好的脂肪源。大规格吉富罗非鱼肌肉中脂肪酸组成明显受饲料脂肪酸组成的影响，肝脏脂肪酸组成受饲料脂肪酸组成的影响较小。

参考文献

[1] 李家乐,李思发.中国大陆尼罗罗非鱼引进及其研究进展[J].水产学报,2001,25(1):90–95.

[2] STICKNEY R R,WURTS W A.Growth response of blue tilapias to selected levels of dietary menhaden and catfish oils[J].The Progressive Fish-Culturist,1986,48(2):107–109.

[3] 涂玮.罗非鱼幼鱼饲料的脂肪及必需脂肪酸需要量研究[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2012.

[4] 王爱民,韩光明,封功能,等.饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能、营养物质消化及血液生化指标的影响[J].水生生物学报,2011,35(1):80–87.

[5] 关勇.亚麻籽油对吉富罗非鱼生长、体组成、脂质代谢及抗氧化能力的影响[D].硕士学位论文.重庆:西南大学,2014.

[6] 刘焕亮,丁守河,杨云龙,等.尼罗罗非鱼摄食器官胚后发育生物学[J].水产学报,1994,18(1):8–17.

[7] NG W K,LOW S Y.Evaluation of spent bleaching clay from palm oil refining as an ingredient for diets of red hybrid tilapia,*Oreochromis* sp.[J].Journal of Applied Aquaculture,2005,17(4):87–97.

[8] TURCHINI G M,TORSTENSEN B E,NG W K.Fish oil replacement in finfish nutrition[J].Reviews in Aquaculture,2009,1(1):10–57.

[9] 张媛媛,刘波,戈贤平,等.不同脂肪源对异育银鲫生长性能、机体成分、血清生化指标、体组织脂肪酸组成及脂质代谢的影响[J].水产学报,2012,36(7):1111–1118.

[10] 陈家林,韩冬,朱晓鸣,等.不同脂肪源对异育银鲫的生长、体组成和肌肉脂肪酸的影响[J].水生生物学报,2011,35(6):988–997.

[11] TORSTENSEN B E,FRØYLAND L,LIE Ø.Replacing dietary fish oil with increasing levels of rapeseed oil and olive oil-effects on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) tissue and lipoprotein lipid composition and lipogenic enzyme activities[J].Aquaculture Nutrition,2004,10(3):175–192.

[12] 曹俊明,林鼎,劳彩玲,等.饲料中添加大豆磷脂对草鱼肝胰脏脂质脂肪酸组成的影响[J].水产学报,1997,21(1):32–38.

[13] GAO J,KOSHIO S,WANG W M,et al.Effects of dietary phospholipid levels on growth performance,fatty acid composition and antioxidant responses of Dojo loach *Misgurnus anguillicaudatus* larvae[J].Aquaculture,2014,426–427:304–309.

[14] BAHURMIZ O M,NG W K.Effects of dietary palm oil source on growth,tissue fatty acid composition and nutrient digestibility of red hybrid tilapia,*Oreochromis* sp.,raised from stocking to marketable size[J].Aquaculture,2007,262(2/3/4):382–392.

[15] NG W K,LIM P K,SIDEK H.The influence of a dietary lipid source on growth,muscle fatty acid composition and erythrocyte osmotic fragility on hybrid tilapia[J].Fish Physiology and Biochemistry,2001,25(4):301–310.

[16] TEOH C Y,TURCHINI G M,NG W K.Erratum to “genetically improved farmed Nile tilapia and red hybrid tilapia showed differences in fatty acid metabolism when fed diets with added fish oil or a vegetable oil blend”[J].Aquaculture,2011,316(1/2/3/4):144–154.

[17] CHOU B S,SHIAU S Y,HUNG S S O.Effect of dietary cod liver oil on growth and fatty acids of juveNile hybrid tilapia[J].North American Journal of Aquaculture,2001,63:277-284.

[18] 李婧.不同油籽原料对团头鲂生长、部分生理机能及体组织脂肪酸组成的影响[D].硕士学位论文.苏州:苏州大学,2009:43–55.

[19] XUE M,LUO L,WU X F,et al.Effects of six alternative lipid sources on growth and tissue fatty acid composition in Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*)[J].Aquaculture,2006,260(1/2/3/4):206–214.

[20] NRC.Nutrient requirements of fish and shrimp[S].Washington,D.C.:National Academy Press,2011.

[21] BELL J G,MCEVOY J,TOCHER D R,et al.Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism[J].The Journal of Nutrition,2001,131(5):1535–1543.

[22] SIMOPOULOS A P.Evolutionary aspects of diet,the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation:nutritional implications for chronic diseases[J].Biomedicine & Pharmacotherapy,2006,60(9):502–507.

Effects of Different Vegetable Oils on Growth Performance and Tissue Fatty Acid Composition of Genetically Improved Farmed Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

LI Xin[1] ZHANG Jian[2] QIAN Xueqiao[2*] YANG Ruibin[1]

(1. *Key Laboratory of Freshwater Animal Breeding*, *Ministry of Agriculture*, *College of Fisheries*, *Huazhong Agricultural University*, *Wuhan* 430070, *China*; 2. *Guangdong Haid Husbandry and Aquaculture Research Center, Guangzhou* 511400, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to explore the utilization effects of different vegetable oils for genetic improvement of farmed tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*), and to screen out the optimal vegetable lipid sources for GIFT. Six isonitrogenous and isolipidic experimental diets were prepared with the lipid sources were soybean oil (SO), palm oil (PO), cottonseed oil (CO),

rapeseed oil (RO), phospholipid (SL) and mixture oil (MIX, SO:PO:CO:RO:SL=1:1:1:1:1), respectively, to fed GIFT with an initial body weight of (229.92±0.31) g for eight weeks. Each experimental diet was fed four net cages and each net cage cultured 50 fish. The results showed as follows: the weight gain rate and specific growth rate of CO and MIX groups were significantly higher than those of RO group (P<0.05). The feed conversion ratio of RO group was significantly lower than that of MIX group (P<0.05), but no significant difference among other groups (P>0.05). The protein efficiency ratio of MIX group was significantly lower than that of RO and SL groups (P<0.05). The hepatosomatic index of MIX group was significantly higher than that of PO and RO groups (P<0.05). There were no significant differences in the weight gain rate, specific growth rate and feed conversion ratio among SO, RO, PO and SL groups (P>0.05). The total amount of muscle saturated fatty acids of SO and RO groups was significantly lower than that of other groups (P<0.05). For muscle n-3 fatty acids/ n-6 fatty acids, RO group was significantly higher than that of other groups (P<0.05), but CO group was significantly lower than that of other groups (P<0.05). The total amount of liver saturated fatty acids of CO groups was significantly higher than that of other groups (P<0.05), but that of RO group was significantly lower than that of other groups (P<0.05). For muscle n-3 fatty acids/ n-6 fatty acids, RO group was significantly higher than that of other groups (P<0.05). The related coefficients between muscle fatty acid composition and dietary fatty acid composition were higher than the related coefficients between liver fatty acid composition and dietary fatty acid composition. Among the elated coefficients between muscle or liver fatty acid composition and dietary fatty acid composition, the highest values were found in PO group and the lowest values were found in SL group. The results suggested that RO, SO, PO and SL can be good lipid sources for the diet of large size GIFT （body weight: 230 to 790 g）. Fatty acid composition of muscle in large size GIFT is affect by dietary fatty acid composition on a certain extent, but the correlation between liver fatty acid composition and dietary fatty acid composition is smaller.

Key words: GIFT; vegetable oil; growth; muscle fatty acid composition; liver fatty acid composition